

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c)'2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

012183645 **Image available**

WPI Acc No: 1998-600558/199851

XRPX Acc No: N98-467948

Scan exposure method for semiconductor device manufacture - involves regulating oscillation frequency of laser source such that maximum frequency is obtained when scanning speed of mask and substrate becomes maximum

Patent Assignee: NIKON CORP (NIKR)

Number of Countries: 002 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 10270345	A	19981009	JP 9788907	A	19970324	199851 B
KR 98080158	A	19981125	KR 988191	A	19980312	200004

Priority Applications (No Type Date): JP 9788907 A 19970324

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 10270345	A		21	H01L-021/027	
KR 98080158	A			H01L-021/027	

Abstract (Basic): JP 10270345 A

The method involves illuminating predefined domain of a mask (R) using a pulse laser source (16). The illuminated pattern of the mask is projected onto a substrate (W), using a projection unit (PL). The average pulse energy output from the laser source is measured. A specific relation connecting number of exposure pulses corresponding to set exposure is obtained, based on the measured average pulse energy. The oscillation frequency of the laser source is regulated by a controller (16d) such that scanning speed of mask and substrate becomes maximum corresponding to maximum oscillation frequency of laser source.

USE - For LCD element, CCD, thin film magnetic head.

ADVANTAGE - Shortens exposure time irrespective of high and low sensitive exposure domains. Enables to maintain stable scanning, even when pulse energy of laser source varies.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-270345

(43)公開日 平成10年(1998)10月9日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 8

G 0 3 F 7/20

5 0 5

G 0 3 F 7/20

5 0 5

5 2 1

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 1 6 D

審査請求 未請求 請求項の数 4 F D (全 21 頁)

(21)出願番号

特願平9-88907

(22)出願日

平成9年(1997)3月24日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 小澤 謙

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

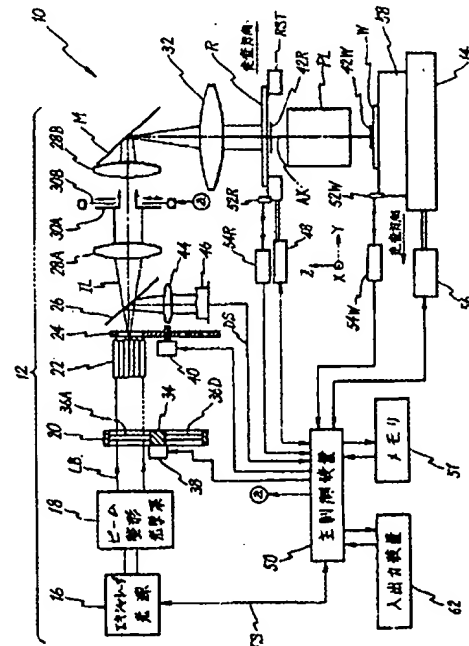
(74)代理人 弁護士 立石 篤司 (外1名)

(54)【発明の名称】 走査露光方法及び走査型露光装置

(57)【要約】

【課題】 設定露光量のいかんにかかわらず常に最短時間で露光を行なう。

【解決手段】 走査露光の際には、設定露光量と計測された平均パルスエネルギーとの関係により定まる1点当たりの露光パルス数に応じて、主制御装置50によってマスクRと感光基板Wとの最大走査速度とパルスレーザ光源16の最大発振周波数との少なくとも一方を維持するように、光源16の発振周波数が制御される。このため、設定露光量が小さく、発振周波数もそれほど高くする必要がない高感度領域では、設定露光量に無関係にスキャン最高速での走査露光が可能となる。一方、設定露光量が大きくなると、発振周波数もそれに応じて高くしなければならないが、発振周波数は最大発振周波数が上限であるから、設定露光量が大きく、スキャン最高速を維持できない低感度領域では、発振周波数を最大発振周波数に設定して、露光が行われることとなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 パルスレーザ光源からのパルス光によりマスク上の所定の照明領域を照明し、前記マスクと感光基板とを投影光学系に対して相対走査しつつ、前記マスクに形成されたパターンを感光基板上に逐次投影露光する走査露光方法であって、

前記パルスレーザ光源からのパルス光の平均パルスエネルギーを計測する工程と；設定された露光量と前記計測された平均パルスエネルギーとの関係により定まる1点当たりの露光パルス数に応じて、走査露光の際に、前記マスクと感光基板との最大走査速度と前記パルスレーザ光源の最大発振周波数との少なくとも一方を維持するように、前記パルスレーザ光源の発振周波数を制御する工程とを含む走査露光方法。

【請求項2】 パルスレーザ光源からのパルス光によりマスク上の所定の照明領域を照明し、前記マスクと感光基板とを投影光学系に対して相対走査しつつ、前記マスクに形成されたパターンを感光基板上に逐次投影露光する走査型露光装置であって、

前記マスクを保持して所定の走査方向に移動可能なマスクステージと；前記感光基板を保持して少なくとも前記走査方向に移動可能な基板ステージと；前記マスクステージと基板ステージとを前記投影光学系に対して所定の速度比で相対走査するステージ制御系と；前記パルスレーザ光源の発振周波数を変更する周波数変更手段と；前記パルスレーザ光源からのパルス光を減光する減光率が離散的な減光手段と；前記減光手段によって減光された前記パルスレーザ光源からのパルス光の平均パルスエネルギーを計測するエネルギー計測手段と；設定された露光量と平均パルスエネルギーとの関係により定まる1点当たりの露光パルス数に応じて、前記ステージ制御系による前記両ステージの最大走査速度と前記パルスレーザ光源の最大発振周波数との少なくとも一方を維持するように前記周波数変更手段を制御する制御手段とを有する走査型露光装置。

【請求項3】 パルスレーザ光源からのパルス光によりマスクを照明し、当該マスクと感光基板とを投影光学系に対して相対走査しつつ、前記マスクに形成されたパターンを感光基板上の複数のショット領域に順次投影露光する走査露光方法において、前記感光基板上の各ショット領域に対する前記マスクパターンの露光の度毎に、前記パルスレーザ光源の平均パルスエネルギーを検出するとともにそれまでの積算露光量を算出し、前記パルスレーザ光源の平均パルスエネルギーが変動したとき、直前のショット領域の積算露光量に基づいて、必要な1点当たりの露光パルス数を確保すべく、前記パルスレーザ光源の発振周波数を制御することを特徴とする走査露光方法。

【請求項4】 パルスレーザ光源からのパルス光により

マスクを照明し、当該マスクと感光基板とを投影光学系に対して相対走査しつつ、前記マスクに形成されたパターンを感光基板上の複数のショット領域に順次投影露光する走査型露光装置であって、

前記パルスレーザ光源の発振周波数を変更する周波数変更手段と；前記パルスレーザ光源からのパルス光の平均パルスエネルギーを計測するエネルギー計測手段と；前記感光基板上の各ショット領域に対する前記マスクパターンの露光の度毎に、前記パルスレーザ光源の平均パルスエネルギーを検出するとともにそれまでの積算露光量を算出し、前記パルスレーザ光源の平均パルスエネルギーが変動したとき、直前のショット領域の積算露光量に基づいて、必要な1点当たりの露光パルス数を確保すべく、前記周波数変更手段を制御する制御手段とを有する走査型露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、走査露光方法及び走査型露光装置に係り、更に詳しくは、例えば半導体素子、液晶表示素子、撮像素子（CCD等）又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのリソグラフィ工程中で使用されるパルスレーザ光源を用いた走査露光方法及び走査型露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より半導体素子等を製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンを投影光学系を介してフォトリジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上の各ショット領域に転写露光する投影露光装置が使用されている。斯かる投影露光装置における1つの基本的な機能として、ウエハの各ショット領域内の各点に対する積算露光量（積算露光エネルギー）を適正範囲内に収めるための露光量制御機能がある。

【0003】従来のステッパーのような一括露光型の投影露光装置（ウエハ上のショット領域にレチクルパターンの露光を行なう際に、ウエハが搭載されたウエハステージを静止した状態で一括して露光を行なう装置）では、露光光源として超高圧水銀ランプのような連続光源、又はエキシマレーザ光源のようなパルスレーザ光源の何れを使用する場合でも、露光量制御方法としては基本的にはカットオフ制御が採用されていた。このカットオフ制御では、感光材料（フォトリジスト）が塗布されたウエハへの露光光の照射中にその露光光の一部を分岐してインテグレートセンサと呼ばれる光電検出器に導き、このインテグレートセンサを介して間接的にウエハ上での露光量を検出し、この検出結果の積算値が当該感光材料で必要とされる積算露光量（以下、「設定露光量」と呼ぶ）に対応する所定のレベル（クリティカルレベル）を超えるまでレーザ発光を続ける（連続光の場合にはクリティカルレベルを超えたらシャッターを閉め始める）というような制御が行われる。

【0004】更に、露光光源としてパルスレーザ光源を用いる場合においては、パルスレーザ光毎にエネルギーのばらつきを有するため、或る一定数（以下、「最小露光パルス数」と呼ぶ）以上の複数のパルスレーザ光で露光することにより、所望の露光量制御精度再現性を得ている。この場合、例えば高感度レジストを露光する際には、設定露光量が小さいため、パルスレーザ光源からのレーザ光をそのまま使用したのでは、最小露光パルス数以上での露光ができなくなる。そこで、このように設定露光量が小さいときには、例えば光路に設置された減光手段によりパルスレーザ光を減光することにより、最小露光パルス数以上のパルス数で露光できるようにしている。

【0005】更に近年では、投影光学系に対する負担をあまり重くすることなく、より大面積のパターンを高精度にウエハ上に転写できるようにするために、レチクルのパターンの一部を投影光学系を介してウエハ上に投影した状態で、レチクル及びウエハを投影光学系に対して同期して走査することによりレチクルのパターンをウエハ上の各ショット領域に逐次転写露光する、ステップ・アンド・スキャン方式等の走査型の投影露光装置も開発

$$(\text{設定露光量}) = (\text{パルス数}) \times (1 \text{パルスの平均エネルギー}) \cdots \cdots (1)$$

ここで、1パルスの平均エネルギーは露光直前にインテグレートセンサにて計測される値である。このため、光路中にパルスエネルギー微変調器が設けられていた。

【0008】図11(A)、(B)には従来のエネルギー微変調器の一例が示されている。この内、図11(A)に示されるダブル・グレーティング方式の微変調器ではパルス発光されるレーザビームLBの光路上に、所定ピッチで透過部と遮光部とが形成された固定の格子板72と、格子のピッチ方向に移動自在な可動の格子板74とが重ねて配置され、2枚の格子板72、74の相対的な位置をずらすことによって、レーザビームLBに対する透過率が微変調できるようになっている。また、図11(B)に示される微変調器では、レーザビームLBの光路上に、それぞれ両面に反射防止コーティングが施された2枚のガラスプレート76、78が、対称に可変の傾斜角 θ で傾斜した状態で配置されている。そして、ガラスプレート76、78の透過率がレーザビームLBの入射角に応じて変化する特性を利用して、傾斜角 θ を制御することによって、レーザビームLBに対する全体の透過率を微調整している。その他、光源であるレーザ自体の設定エネルギーを変調する例もある。

【0009】ところで、走査型露光装置の場合には、次の式も満足しなければいけない。

$$V = Ws / N \times f \cdots \cdots (2)$$

上式において、Vはウエハ（ウエハステージ）の走査露光時の走査速度、Wsはウエハ面上でのスリット状露光領域の走査方向の幅（スリット幅）、Nは1点当たりの露光パルス数、fはレーザ発振周波数を示す。

されている。このような走査露光型の装置では、ウエハ上の1点だけに着目した露光量制御が適用できないために、上述のカットオフ制御が適用できない。そこで、従来は第1の制御方式として、単純に各パルス照明光の光量を積算して露光量制御を行う方式（オープン露光量制御方式）が使用されていた。また、第2の制御方式として、例えば、特開平6-252022号公報に開示されるような、ウエハ上で走査方向に対してスリット状の露光領域（レチクル上のスリット状の照明領域に共役な領域であって、ウエハはこの領域に対して相対走査される）に含まれる領域に対する積算露光量をパルス照明光毎にリアルタイムで計測し、その積算露光量に基づいて次のパルス照明光の目標エネルギーを個別に算出して、各パルス照明光のエネルギーを制御する方式（パルス毎露光量制御方式）も考えられているが、そのアルゴリズムが複雑である。

【0006】前者の第1の制御方式においては、所望の露光量制御の直線性を得るために次の関係が成立するように、即ち、露光パルス数が整数になるように、パルスエネルギーを微調する必要がある。

【0007】

【0010】従来の露光シーケンスの流れとしては、露光量が設定され、像面上平均エネルギーが計測され、1点当たりのパルス数が算出され、定数として扱っているスリット幅Ws、レーザ発振周波数fより、走査速度Vが決められていた。この場合において、レーザ発振周波数fは、露光装置のステージ制御システムの性能（機構的な性能を含む）によって規定される最高走査速度（スキャン最高速）によって律速される最高発振周波数 f_0 に固定されていた。

【0011】すなわち、従来の走査型露光装置では、スリット幅Wsは光学設計上から定まる固定値であり、レーザ発振周波数fもステージ制御システムの性能上で定まるスキャン最高速 V_{max} に対応する最高発振周波数 f_0 に固定されていた（ $f = f_0$ であった）ことから、1点当たりの露光パルス数Nが最小露光パルス数 N_{min} であるとき、すなわち $N = N_{min}$ であるときに、(2)式の関係から走査速度Vが V_{max} に定められるようになっていた。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】ところで、走査型露光装置の場合も、前述した一括型露光装置と同様に、所定の露光量再現性を得るために、1点当たり、ある一定の数（最小露光パルス数）以上の複数のパルスレーザ光にて露光する必要がある。この場合も、例えば高感度レジストを露光する際のように設定露光量が小さいときには、例えば光路上に設置された減光手段（エネルギー粗調器）によりパルスレーザ光を減光し、最小露光パルス条件を満たすようにしている。

【0013】この場合のエネルギー粗調器としては、例えば図11(C)に示されるような、レボルバと呼ばれる回転自在の円板80上に透過率(=1-減光率)の異なる複数個のNDフィルタ84を配置したものを、1又は複数段配置して成るエネルギー粗調器が用いられ、それぞれのレボルバ80を回転することにより、入射するレーザービームLBに対する透過率を100%から複数段階(図11(C)の場合は $6 \times 6 = 36$ 段階)で切り換えるようになっていた。すなわち、かかるエネルギー粗調器による透過率の設定は、離散的なもの(通常、等比級数的)になっている。

【0014】このため、設定露光量によっては、それに対応した(比例した)減光率を設定することが困難な場合があり、かかる設定露光量の場合には、設定露光量に対応した減光率以下での減光率の組み合わせの内でも近い減光率となるようなNDフィルタを選択する他なく、1点当たりの露光パルス数 N を、NDフィルタ透過率の離散分(理想的な連続可変エネルギー変調器で設定される設定露光量に対応した減光率からの差分)だけ最小露光パルス数 N_{\min} より大きな値に設定するしかなかった。従って、(2)式の関係から明らかなように、走査速度 V を常に最高速 V_{\max} に維持することができず、結果的に露光時間 T_{exp} ($=Ws/V$)がNDフィルタ透過率の離散分余計にかかることになり、ある設定露光量では理想的なスループットが低下していた。すなわち、設定露光量(S_0)と露光時間(T_{exp})との関係は、図5中に示される点線のようにになっていた。

【0015】本発明は、かかる事情の下になされたもので、請求項1に記載の発明の目的は、高感度領域及び低感度領域にかかわらず常に最短時間で露光を行なうことが可能な走査露光方法を提供することにある。

【0016】また、請求項2に記載の発明の目的は、減光手段の離散的な減光率の影響を受けることなく、高感度領域において常に最短時間で露光を行なうことができるとともに低感度領域においてもスループットを向上させることが可能な走査型露光装置を提供することにある。

【0017】また、請求項3に記載の発明の目的は、特に高感度露光領域において、露光中のパルスエネルギーが変動した際に、走査速度を維持した状態で、次ショットに対し所望の積算露光量を得るような露光を行なうことが可能な走査露光方法を提供することにある。

【0018】また、請求項4に記載の発明の目的は、特に高感度露光領域において、露光中のパルスエネルギーが変動した際に、走査速度を維持した状態で、次ショットに対し所望の積算露光量を得るような露光を行なうことが可能な走査型露光装置を提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、パルスレーザ光源(16)からのパルス光によりマ

スク(R)上の所定の照明領域を照明し、前記マスク(R)と感光基板(W)とを投影光学系(PL)に対し相対走査しつつ、前記マスク(R)に形成されたパターンを感光基板(W)上に逐次投影露光する走査露光方法であって、前記パルスレーザ光源(16)からのパルス光の平均パルスエネルギーを計測する工程と;設定された露光量と前記計測された平均パルスエネルギーとの関係により定まる1点当たりの露光パルス数に応じて、走査露光の際に、前記マスク(R)と感光基板(W)との最大走査速度と前記パルスレーザ光源(16)の最大発振周波数との少なくとも一方を維持するように、前記パルスレーザ光源の発振周波数を制御する工程とを含む。

【0020】これによれば、走査露光に先立ち、パルスレーザ光源からのパルス光の平均パルスエネルギーが計測され、走査露光の際には、設定された露光量と計測された平均パルスエネルギーとの関係により定まる1点当たりの露光パルス数に応じて、マスクと感光基板との最大走査速度とパルスレーザ光源の最大発振周波数との少なくとも一方を維持するように、パルスレーザ光源の発振周波数が制御される。すなわち、本発明によれば、従来は固定値であったパルスレーザ光源の発振周波数 f が、露光パルス数 N に応じて、マスクと感光基板との最大走査速度(スキャン最高速)又はパルスレーザ光源の最大発振周波数の少なくとも一方を維持するように制御される。このため、設定露光量が小さく、最大速度を得るのに必要な発振周波数が最大発振周波数以内の領域では、少なくとも設定露光量に無関係にスキャン最高速での走査露光が可能となり、スループットを最も高く維持することが可能になる。この場合、パルスレーザ光源の発振周波数は、前述した(2)式の関係に基づいて制御される。一方、設定露光量が大きくなると、レーザ発振周波数もそれに応じて高くしなければならないが、レーザ発振周波数は上限である最大発振周波数以上に高くはできない。従って、設定露光量が大きく、スキャン最高速を維持できない領域(本明細書では、この領域を「低感度領域」と呼ぶ)では、レーザ発振周波数を最大発振周波数に設定して、前述した(2)式の関係に基づいて定まる走査速度にて露光が行われることとなる。この場合、(2)式から明らかなように、最大発振周波数を f_{\max} とすると、走査速度は従来の(f_{\max}/f_0)倍となり、1点当たりの露光時間が従来の f_0/f_{\max} に抑えられ、明らかに $f_{\max} \geq f_0$ であるから、低感度領域においてもスループットは向上する。また、仮に、パルスレーザ光源のエネルギーが連続的に変調可能である場合を考えると、 $f_{\max} \geq f_0$ であるから、最高走査速度で露光できる設定露光量の幅が従来よりも広くなる。

【0021】請求項2に記載の発明は、パルスレーザ光源(16)からのパルス光によりマスク(R)上の所定の照明領域を照明し、前記マスク(R)と感光基板(W)とを投影光学系(PL)に対して相対走査しつ

つ、前記マスク(R)に形成されたパターンを感光基板(W)上に逐次投影露光する走査型露光装置であって、前記マスク(R)を保持して所定の走査方向に移動可能なマスクステージ(RST)と；前記感光基板(W)を保持して少なくとも前記走査方向に移動可能な基板ステージ(14)と；前記マスクステージ(RST)と基板ステージ(14)とを前記投影光学系(PL)に対して所定の速度比で相対走査するステージ制御系(48、50、54R、54W、56)と；前記パルスレーザ光源(16)の発振周波数を変更する周波数変更手段(16d)と；前記パルスレーザ光源(16)からのパルス光を減光する減光率が離散的な減光手段(20)と；前記減光手段(20)によって減光された前記パルスレーザ光源(16)からのパルス光の平均パルスエネルギーを計測するエネルギー計測手段(46)と；設定された露光量と平均パルスエネルギーとの関係により定まる1点当たりの露光パルス数に応じて、前記ステージ制御系(48、50、54R、54W、56)による前記両ステージ(RST、14)の最大走査速度と前記パルスレーザ光源(16)の最大発振周波数との少なくとも一方を維持するように前記周波数変更手段(16d)を制御する制御手段(50)とを有する。

【0022】これによれば、設定露光量が小さく、減光率0%（透過率100%）の状態では、最小露光パルス数が確保できないような場合、減光手段によりパルスレーザ光源からのパルス光が減光される。この減光手段によって減光されたパルスレーザ光源からのパルス光の平均パルスエネルギーがエネルギー計測手段によって計測される。但し、減光手段の減光率が離散的なため、設定露光量と前記計測された平均パルスエネルギーとで定まる1点当たりの露光パルス数は、常に最小露光パルス数になるとは限らず、最小露光パルス数より多くなる場合が生じ得る。そこで、制御手段では、上記1点当たりの露光パルス数に応じて、ステージ制御系による両ステージの最大走査速度とパルスレーザ光源の最大発振周波数との少なくとも一方を維持するように周波数変更手段を制御する。

【0023】すなわち、本発明によれば、従来は固定値であったパルスレーザ光源の発振周波数 f が、制御手段によって、露光パルス数 N に応じて、ステージ制御系による両ステージの最大走査速度（スキャン最高速）又はパルスレーザ光源の最大発振周波数の少なくとも一方を維持するように、周波数変更手段を介して制御される。このため、設定露光量が小さく、レーザ発振周波数もそれほど高くする必要がない高感度領域では、減光率の離散分に起因して1点当たりの露光パルス数が増加してもそれに比例して周波数変更手段を介してレーザ発振周波数が増加変更されるので、設定露光量に無関係に、露光時に、ステージ制御系により両ステージがスキャン最高速で走査されることとなり、スループットを最も高く維

持することが可能になる。この場合、パルスレーザ光源の発振周波数は、前述した(2)式の関係に基づいてが制御される。一方、設定露光量が大きくなると、1点当たりの露光パルス数が増えてレーザ発振周波数もそれに応じて高くしなければならないが、レーザ発振周波数は上限である最大発振周波数以上に高くはできない。従って、設定露光量が大きく、スキャン最高速を維持できない低感度領域（この領域では減光手段による減光率を0%（透過率100%）に設定する）では、レーザ発振周波数を最大発振周波数に設定して、前述した(2)式の関係に基づいて定まる走査速度にて露光が行われることとなる。この場合、(2)式から明らかなように、最大発振周波数を f_{max} とすると、走査速度は従来の (f_{max}/f_0) 倍となり、1点当たりの露光時間が従来の f_0/f_{max} に抑えられ、明らかに $f_{max} \geq f_0$ であるから、低感度領域においてもスループットは向上する。また、仮に、パルスレーザ光源のエネルギーが連続的に変動可能である場合を考えても、 $f_{max} \geq f_0$ であるから、最高走査速度で露光できる設定露光量の幅が従来よりも広くなる。

【0024】請求項3に記載の発明は、パルスレーザ光源(16)からのパルス光によりマスク(R)を照明し、当該マスク(R)と感光基板(W)とを投影光学系(PL)に対して相対走査しつつ、前記マスク(R)に形成されたパターンを感光基板(W)上の複数のショット領域に順次投影露光する走査露光方法において、前記感光基板(W)上の各ショット領域に対する前記マスクパターンの露光の度毎に、前記パルスレーザ光源(16)の平均パルスエネルギーを検出するとともにそれまでの積算露光量を算出し、前記パルスレーザ光源(16)の平均パルスエネルギーが変動したとき、直前のショット領域の積算露光量に基づいて、必要な1点当たりの露光パルス数を確保すべく、前記パルスレーザ光源(16)の発振周波数を制御することを特徴とする。

【0025】これによれば、感光基板上の各ショット領域に対するマスクパターンの露光の度毎に、パルスレーザ光源の平均パルスエネルギーを検出するとともにそれまでの積算露光量を算出する。そして、パルスレーザ光源の平均パルスエネルギーが変動したとき、直前のショット領域の積算露光量に基づいて、必要な1点当たりの露光パルス数を確保すべく、パルスレーザ光源の発振周波数を制御する。このように、本発明によれば、感光基板上の各ショット領域に対するマスクパターンの露光が順次行われている場合に、パルスレーザ光源の平均パルスエネルギーが変動し、その変動の結果、積算露光量が許容できない程度の誤差が生じるようになった場合において、必要な1点当たりの露光パルス数、すなわち設定露光量と計測された平均パルスエネルギーとで定まる1点当たりの露光パルス数を確保すべく、直前のショット領域の積算露光量に基づいて、パルスレーザ光源の発振周波数が

制御される。この結果、前述した(2)式から明らかなように、走査速度を変更することなく、露光パルス数を変更することにより、例えば高感度領域においてスキャン最高速で露光を行っていた場合において、あるショット領域の露光中又は露光後にパルスレーザ光源の平均パルスエネルギーが変動した場合、これに影響を受けることなく、次ショットに対してはスキャン最高速を維持したまま所望の積算露光量を得るような露光が可能である。

【0026】請求項4に記載の発明は、パルスレーザ光源(16)からのパルス光によりマスク(R)を照明し、当該マスク(R)と感光基板(W)とを投影光学系(PL)に対して相対走査しつつ、前記マスク(R)に形成されたパターンを感光基板(W)上の複数のショット領域に順次投影露光する走査型露光装置であって、前記パルスレーザ光源(16)の発振周波数を変更する周波数変更手段(16d)と；前記パルスレーザ光源(16)からのパルス光の平均パルスエネルギーを計測するエネルギー計測手段(46)と；前記感光基板(W)上の各ショット領域に対する前記マスクパターンの露光の度毎に、前記パルスレーザ光源(16)の平均パルスエネルギーを検出するとともにそれまでの積算露光量を算出し、前記パルスレーザ光源の平均パルスエネルギーが変動したとき、直前のショット領域の積算露光量に基づいて、必要な1点当たりの露光パルス数を確保すべく、前記周波数変更手段(16d)を制御する制御手段(50)とを有する。

【0027】これによれば、エネルギー計測手段によりパルスレーザ光源からのパルス光の平均パルスエネルギーが計測される。制御手段では、感光基板上の各ショット領域に対するマスクパターンの露光の度毎に、エネルギー計測手段を介してパルスレーザ光源の平均パルスエネルギーを検出するとともにそれまでの積算露光量を算出し、パルスレーザ光源の平均パルスエネルギーが変動したとき、直前のショット領域の積算露光量に基づいて、必要な1点当たりの露光パルス数を確保すべく、周波数変更手段を制御する。このように、本発明によれば、感光基板上の各ショット領域に対するマスクパターンの露光が順次行われている場合に、パルスレーザ光源の平均パルスエネルギーが変動し、その変動の結果、積算露光量が許容できない程度の誤差が生じるようになったとき、必要な1点当たりの露光パルス数、すなわち設定露光量と計測された平均パルスエネルギーとで定まる1点当たりの露光パルス数を確保すべく、直前のショット領域の積算露光量に基づいて、パルスレーザ光源の発振周波数が制御される。従って、走査速度を変更することなく、露光パルス数を変更することにより、例えば高感度領域においてスキャン最高速で露光を行っていた場合において、あるショット領域の露光中又は露光後にパルスレーザ光源の平均パルスエネルギーが変動した場合、これに影響を受け

ることなく、次ショットに対してはスキャン最高速を維持したまま所望の積算露光量を得るような露光が可能となる。

【0028】

【発明の実施の形態】

《第1の実施形態》以下、本発明の第1の実施形態を図1ないし図6に基づいて説明する。

【0029】図1には、第1の実施形態の走査型露光装置10の概略構成が示されている。この走査型露光装置10は、露光用光源にパルスレーザ光源としてのエキシマレーザ光源を用いたステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置である。

【0030】この走査型露光装置10は、エキシマレーザ光源16を含む照明系12、この照明系12により照明されるマスクとしてのレチクルRを保持して所定の走査方向に移動するマスクステージとしてのレチクルステージRST、レチクルRのパターンを感光基板としてのウエハW上に投影する投影光学系PL、ウエハWを保持して水平面(XY平面内)を移動するXYステージ14、及びこれらの制御系等を備えている。

【0031】前記照明系12は、エキシマレーザ光源16、ビーム整形光学系18、エネルギー粗調器20、フライアイレンズ22、照明系開口絞り板24、ビームスプリッタ26、第1リレーレンズ28A、第2リレーレンズ28B、固定レチクルブラインド30A、可動レチクルブラインド30B、光路折り曲げ用のミラーM及びコンデンサレンズ32等を備えている。

【0032】ここで、この照明系12の上記構成各部について説明する。エキシマレーザ光源16としては、KrFエキシマレーザ光源(発振波長248nm)、又はArFエキシマレーザ光源(発振波長193nm)等が使用される。なお、このエキシマレーザ光源16に代えて、金属蒸気レーザ光源やYAGレーザの高調波発生装置等のパルス光源を露光光源として使用しても良い。

【0033】ビーム整形光学系18は、エキシマレーザ光源16からパルス発光されたレーザビームLBの断面形状を、該レーザビームLBの光路後方に設けられたフライアイレンズ22に効率よく入射するように整形するもので、例えばシリンダレンズやビームエキスパンダ(いずれも図示省略)等で構成される。

【0034】エネルギー粗調器20は、ビーム整形光学系18後方のレーザビームLBの光路上に配置され、ここでは、回転板34の周囲に透過率(=1-減光率)の異なる複数の(例えば6個)のNDフィルタ(図1ではその内の2個のNDフィルタ36A、36Dが示されている)を配置し、その回転板34を駆動モータ38で回転することにより、入射するレーザビームLBに対する透過率を100%から等比級数的に複数段階で切り換えることができるようになっている。駆動モータ38は、後述する主制御装置50によって制御される。なお、その

回転板34と同様の回転板を2段配置し、2組のNDフィルタの組み合わせによってより細かく透過率を調整できるようにしてもよい(図11(C)参照)。

【0035】前記フライアイレンズ22は、エネルギー粗調器20後方のレーザビームLBの光路上に配置され、レチクルRを均一な照度分布で照明するために多数の2次光源を形成する。この2次光源から射出されるレーザビームを以下においては、「パルス照明光IL」と呼ぶものとする。

【0036】フライアイレンズ22の射出面の近傍に、円板状部材から成る照明系開口絞り板24が配置されている。この照明系開口絞り板24には、等角度間隔で、例えば通常の円形開口より成る開口絞り、小さな円形開口より成りコヒーレンスファクタである σ 値を小さくするための開口絞り、輪帯照明用の輪帯状の開口絞り、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置して成る変形開口絞り(図1ではこのうちの2種類の開口絞りのみが図示されている)等が配置されている。この照明系開口絞り板24は、後述する主制御装置50により制御されるモータ等の駆動装置40により回転されるようになっており、これによりいずれかの開口絞りがパルス照明光ILの光路上に選択的に設定される。

【0037】照明系開口絞り板24後方のパルス照明光ILの光路上に、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ26が配置され、更にこの後方の光路上に、固定レチクルブラインド30A及び可動レチクルブラインド30Bを介在させて第1リレーレンズ28A及び第2リレーレンズ28Bから成るリレー光学系が配置されている。

【0038】固定レチクルブラインド30Aは、レチクルRのパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクルR上の照明領域42Rを規定する矩形開口が形成されている。また、この固定レチクルブラインド30Aの近傍に走査方向の位置及び幅が可変の開口部を有する可動レチクルブラインド30Bが配置され、走査露光の開始時及び終了時にその可動レチクルブラインド30Bを介して照明領域42Rを更に制限することによって、不要な部分の露光が防止されるようになっている。

【0039】リレー光学系を構成する第2リレーレンズ28B後方のパルス照明光ILの光路上には、当該第2リレーレンズ28Bを通過したパルス照明光ILをレチクルRに向けて反射する折り曲げミラーMが配置され、このミラーM後方のパルス照明光ILの光路上にコンデンサレンズ32が配置されている。

【0040】このようにして構成された照明系12の作用を簡単に説明すると、エキシマレーザ光源16からパルス発光されたレーザビームLBは、ビーム整形光学系18に入射して、ここで後方のフライアイレンズ22に効率よく入射するようにその断面形状が整形された後、

エネルギー粗調器20に入射する。そして、このエネルギー粗調器20のいずれかのNDフィルタを透過したレーザビームLBは、フライアイレンズ22に入射する。これにより、フライアイレンズ22の射出端に多数の2次光源が形成される。この多数の2次光源から射出されたパルス照明光ILは、照明系開口絞り板24上のいずれかの開口絞りを通過した後、透過率が大きく反射率が小さなビームスプリッタ26に至る。このビームスプリッタ26を透過した露光光としてのパルス照明光ILは、第1リレーレンズ28Aを経て固定レチクルブラインド30Aの矩形の開口部及び可動レチクルブラインド30Bを通過した後、第2リレーレンズ28Bを通過してミラーMによって光路が垂直下方に折り曲げられた後、コンデンサレンズ32を経て、レチクルステージRST上に保持されたレチクルR上の矩形の照明領域42Rを均一な照度分布で照明する。

【0041】一方、ビームスプリッタ26で反射されたパルス照明光ILは、集光レンズ44を介して光電変換素子よりなるインテグレートセンサ46で受光され、インテグレートセンサ46の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及びA/D変換器を介して出力DS(digit/pulse)として主制御装置50に供給される。インテグレートセンサ46としては、例えば遠紫外域で感度があり、且つエキシマレーザ光源16のパルス発光を検出するために高い応答周波数を有するPIN型のフォトダイオード等が使用できる。このインテグレートセンサ46の出力DSと、ウェハWの表面上でのパルス照明光ILの照度(露光量)との相関係数は予め求められて、主制御装置50に併設されたメモリ51内に記憶されている。

【0042】前記レチクルステージRST上にレチクルRが載置され、不図示のバキュームチャック等を介して吸着保持されている。レチクルステージRSTは、水平面(XY平面)内で微小駆動可能であるとともに、レチクルステージ駆動部48によって走査方向(ここでは図1の紙面左右方向であるY方向とする)に所定ストローク範囲で走査されるようになっている。この走査中のレチクルステージRSTの位置は、レチクルステージRST上に固定された移動鏡52Rを介して外部のレーザ干渉計54Rによって計測され、このレーザ干渉計54Rの計測値が主制御装置50に供給されるようになっている。

【0043】前記投影光学系PLは、両側テレセントリックな光学配置になるように配置された共通のZ軸方向の光軸AXを有する複数枚のレンズエレメントから構成されている。また、この投影光学系PLとしては、投影倍率 α (α は例えば $1/4$ 又は $1/5$)のものが使用されている。このため、前記の如くして、パルス照明光ILによりレチクルR上の照明領域42Rが照明されると、そのレチクルRに形成されたパターンが投影光学系

PLによって投影倍率 α で縮小された像が表面にレジスト(感光剤)が塗布されたウエハW上のスリット状の露光領域42Wに投影露光される。

【0044】前記XYステージ14は、ウエハステージ駆動部56によってXY面内で走査方向であるY方向及びこれに直交するX方向(図1における紙面直交方向)に2次元駆動されるようになっている。このXYステージ14上に、Zチルトステージ58が搭載され、このZチルトステージ58上に不図示のウエハホルダを介してウエハWが真空吸着等により保持されている。Zチルトステージ58は、ウエハWのZ方向の位置(フォーカス位置)を調整すると共に、XY平面に対するウエハWの傾斜角を調整する機能を有する。また、XYステージ14の位置は、Zチルトステージ58上に固定された移動鏡52Wを介して外部のレーザ干渉計54Wにより計測され、このレーザ干渉計54Wの計測値が主制御装置50に供給されるようになっている。

【0045】制御系は、図1中、制御手段としての主制御装置50によって主に構成される。主制御装置50は、CPU(中央演算処理装置)、ROM(リード・オンリ・メモリ)、RAM(ランダム・アクセス・メモリ)等から成るいわゆるマイクロコンピュータ(又はミニコンピュータ)を含んで構成され、露光動作が的確に行われるように、例えばレチクルRとウエハWの同期走査、ウエハWのステッピング、露光タイミング等を統括して制御する。

【0046】具体的には、主制御装置50は、例えば走査露光時には、レチクルRがレチクルステージRSTを介して+Y方向(又は-Y方向)に速度 V_R で走査されるのに同期して、XYステージ14を介してウエハWが露光領域42Wに対して-Y方向(又は+Y方向)に速度 $\alpha \cdot V_R$ (α はレチクルRからウエハWに対する投影倍率)で走査されるように、レーザ干渉計54R、54Wの計測値に基づいてレチクルステージ駆動部48、ウエハステージ駆動部56をそれぞれ介してレチクルステージRST、XYステージ14の位置及び速度をそれぞれ制御する。また、ステッピングの際には、主制御装置50ではレーザ干渉計54Wの計測値に基づいてウエハステージ駆動部56を介してXYステージ14の位置を制御する。このように、本第1の実施形態では、主制御装置50、レーザ干渉計54R、54W、レチクルステージ駆動部48、ウエハステージ駆動部56によって、ステージ制御系が構成されている。

【0047】また、主制御装置50では、制御情報TSをエキシマレーザ光源16に供給することによって、エキシマレーザ光源16の発光タイミング、及び発光パワー等を制御する。また、主制御装置50は、エネルギー制御器20、照明系開口絞り板24をモータ38、駆動装置40をそれぞれ介して制御し、更にステージ系の動作情報に同期して可動レチクルブラインド30Bの開閉動

作を制御する。このように本実施形態では、主制御装置50が、露光コントローラ及びステージコントローラの役目をも有している。これらのコントローラを主制御装置50とは別に設けても良いことは勿論である。

【0048】次に、本実施形態の走査型露光装置10の露光量制御系の構成について図2に基づいて説明する。

【0049】図2には、図1の走査型露光装置10の露光量制御に関連する構成部分が取り出して示されている。この図2に示されるように、エキシマレーザ光源16の内部には、レーザ共振器16a、ビームスプリッタ16b、エネルギーモニタ16c、エネルギーコントローラ16d及び高圧電源16e等が設けられている。

【0050】図2において、レーザ共振器16aからパルス的に放出されたレーザビームは、透過率が高く僅かな反射率を有するビームスプリッタ16bに入射し、ビームスプリッタ16bを透過したレーザビームLBが外部に射出される。また、ビームスプリッタ16bで反射されたレーザビームが光電変換素子より成るエネルギーモニタ16cに入射し、エネルギーモニタ16cからの光電変換信号が不図示のピークホールド回路を介して出力ESとしてエネルギーコントローラ16dに供給されている。エネルギーモニタ16cの出力ESに対応するエネルギーの制御量の単位は(mJ/pulse)である。通常の発光時には、エネルギーコントローラ16dは、エネルギーモニタ16cの出力ESが、主制御装置50より供給された制御情報TS中の1パルス当たりのエネルギーの目標値に対応した値となるように、高圧電源16eでの電源電圧をフィードバック制御する。また、エネルギーコントローラ16dは、レーザ共振器16aに供給されるエネルギーを高圧電源16eを介して制御することにより発振周波数をも変更する。すなわち、エネルギーコントローラ16dは、主制御装置50からの制御情報TSに応じてエキシマレーザ光源16の発振周波数を主制御装置50で指示された周波数に設定するとともに、エキシマレーザ光源16での1パルス当たりのエネルギーが主制御装置50で指示された値となるように高圧電源16eの電源電圧のフィードバック制御を行なう。

【0051】また、エキシマレーザ光源16内のビームスプリッタ16bの外側には、主制御装置50からの制御情報に応じてレーザビームLBを遮光するためのシャッタ16fも配置されている。

【0052】更に、後述する制御テーブルの作成時には、エネルギーモニタ16cの出力ESがエネルギーコントローラ16dを介して主制御装置50に供給され、主制御装置50では、エネルギーコントローラ16cの出力ESとインテグレートセンサ46の出力DSとの相関関係を求める、そして、走査露光時に主制御装置50は、所定の制御情報TSをエネルギーコントローラ16cに送って、エキシマレーザ光源16にパルス発光を行わせ、各パルス照明光毎にインテグレートセンサ46からの出

力DSを積算して、順次ウエハW上の各点での積算露光量を求める。この各点の積算露光量がウエハW上のフォトレジストに対する設定露光量となるように、主制御装置50はエネルギー粗調器20における透過率の調整、及びエキシマレーザ光源16における1パルス当たりのエネルギーの微調整をウエハの露光前に行う。

【0053】次に、上記のようにして構成された走査型露光装置10における露光量制御動作の一例について説明する。

【0054】始めに、露光量制御の前提となる制御テーブルの作成手順を説明する。ここでは、インテグレートセンサ46を中心にして制御テーブルを作成するため、エキシマレーザ光源16内のエネルギーモニタ16cの出力ESの単位(エネルギー制御量の単位)を(mJ/pulse)と仮定する。上述のように、インテグレートセンサ46の出力DSの単位(エネルギー制御量の単位)は($\text{digit}/\text{pulse}$)である。

【0055】ここで、インテグレートセンサ46の出力DSは、図1のZチャルトステージ58上で像面(即ち、ウエハの表面)と同じ高さに設置された不図示の基準照度計の出力に対して予め較正(キャリブレーション)されているものとする。その基準照度計のデータ処理単位は($\text{mJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{pulse})$)なる物理量であり、インテグレートセンサ46の較正とは、インテグレートセンサ46の出力DS ($\text{digit}/\text{pulse}$)を、像面上的の露光量

$$E = E_0 \cdot \{1 \pm (i/N_{\text{DATA}}) \times E_R/E_0\} \quad \dots\dots (3)$$

ここで、 E_R は必要となるエネルギー変動レンジであり、典型的には E_R/E_0 は0.02~0.03である。また、 i は整数であり、 i の値は例えば、0~ N_{DATA} の範囲で変化させる。

【0059】そして、実際に i の値を変化させながらエキシマレーザ光源16にパルス発光を行わせて、インテグレートセンサ46の処理量Pの値 P_i と、エネルギーモニタ16cの出力ESの値 E_i とを相関データ(P_i, E_i)として記録する。1つのデータは1パルスの結果でも複数パルスの平均値でも、同時計測されたデータであればどちらでもよい。

【0060】図3には、このようにして得られた相関データ(P_i, E_i)が示されている。この図3において、横軸はインテグレートセンサ46の処理量の値 P_i 、縦軸はエネルギーモニタ16cの出力の値 E_i である。そして、例えば図3の相関データを補間して、インテグレートセンサ46の処理量P ($\text{mJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{pulse})$)からエネルギーモニタ16cの出力ES (mJ/pulse)を算出するための変換関数 $f(P)$ を求めるか、又はその処理量Pからその出力ESを求めるための変換係数を求め、その変換関数 $f(P)$ 又は変換係数を制御テーブルとして図1のメモリ51に記憶する。その後、主制御装置50では、その制御テーブル、及びインテグレートセンサ46の処理量Pに基づいて対応するエネルギー

($\text{mJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{pulse})$)に変換するための変換係数、或いは変換関数を得ることである。この変換係数、或いは変換関数を用いると、インテグレートセンサ46の出力DSより間接的に像面上に与えられている露光量を計測できることになる。そこで、以下の説明では、インテグレートセンサ46の出力DSより間接的に求められる像面上での露光量を、インテグレートセンサ46による処理量P ($\text{mJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{pulse})$)として説明する。

【0056】今、求めようとしているのは、像面上の露光量、即ち、インテグレートセンサ46の処理量P ($\text{mJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{pulse})$)と、エキシマレーザ光源16内のエネルギーモニタ16cの出力ES (mJ/pulse)との相関関係である。そのための前提条件として、図1のエキシマレーザ光源16からのレーザビームLBの1パルス当たりのエネルギーEは、所定の中心エネルギー E_0 にて安定化されるものとする。また、エネルギー粗調器20における透過率を100%(開放)に設定するものとする。

【0057】そして、レーザビームLBのエネルギーEを、その中心エネルギー E_0 の上下に次のように変化させる。但し、相関データ取りに用いるデータ数を N_{DATA} としている。

【0058】

モニタ16cの出力ESを正確に算出することができる。

【0061】以下の説明では、簡単のためインテグレートセンサ46とエネルギーモニタ16cとの相関が非常にリニアであり、相関データ(P_i, E_i)が図3中の実線の直線で示されるような1次関数で表され、そのオフセットは0とみなすことができ、その傾きを変換係数 β として扱えるものとする。即ち、インテグレートセンサ46の処理量P ($\text{mJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{pulse})$)、及び変換係数 β を用いて、次式よりエネルギーモニタ16cの出力ES (mJ/pulse)を算出できるものと仮定する。

【0062】

$$ES = \beta \cdot P \quad \dots\dots (4)$$

そこで、主制御装置50では図3の相関データより例えば最小自乗近似によってその変換係数 β を求め、この変換係数 β を制御テーブルとしてメモリ51内に記憶する。これによって制御テーブルの作成が完了する。

【0063】次に、本実施形態の走査型露光装置10の基本的な露光量制御シーケンスについて、主制御装置50内のCPUの制御アルゴリズムを示す図4のフローチャートを参照して説明する。なお、エキシマレーザ光源16からのレーザビームLBに対するエネルギー粗調器20による透過率は、単に露光パルス数が必要露光パルス数以上になるように設定すればよいため、ここでは、レ

ーザビームLBのエネルギーの微変動動作に着目して説明する。

【0064】まず、以下の説明で用いる量を次のように定義する。

【0065】(a) S_0 : オペレータが設定するウエハW上のフォトレジストに対して与えるべき露光量(設定露光量)。

(b) N : ウエハ上の1点当たりに照射されるパルス照明光ILのパルス数(露光パルス数)。

(c) p : 露光前にインテグレートセンサ46にて間接的に計測される像面上の平均パルスエネルギー密度($\text{mJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{pulse})$)。

(d) A_t : 設定された露光量に対する実際のウエハ上の各ショット領域内での平均露光量誤差の目標誤差(露光量目標値精度)。

(e) P_t : インテグレートセンサ46を基準とした設定パルスエネルギー($\text{mJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{pulse})$)。

(f) E_t : エキシマレーザ光源16が主制御装置50から受けたレーザビームLBのエネルギー設定値(mJ/pulse)。即ち、(4)式に対応して次式が成立している。

$$E_t = \beta \cdot P_t \quad \dots\dots (5)$$

【0066】(g) V_{\max} : XYステージ14のスキャン最高速(mm/s)。

(h) N_{\min} : 1点当たりの最小露光パルス数。

(i) W_s : ウエハ面での実効的な露光スリット幅(mm)。

(j) f_{\max} : エキシマレーザ光源16の実際の最高発振周波数(Hz)。

【0067】また、前提条件として、レーザ発振周波数 f の中立値を f_0 とする。 f_0 は以下の式より算出される。これは従来の露光量制御における、固定発振周波数と同じである。

$$f_0 = V_{\max} \times N_{\min} / W_s \quad \dots\dots (6)$$

また、本実施形態では $f_0 < f_{\max}$ であり、 $f_0 < f < f_{\max}$ の範囲で発振周波数が変調可能になっているものとする。

【0069】また、エネルギー粗調器20の透過率は設定露光量全般での露光時間を最小にするために、離散透過率は等比数列になるように設計されているものとする。この公比を r としたとき、本実施形態では $r < f_0/f_{\max}$ であるとする。

【0070】そして、通常の露光量制御シーケンスは以下になる。

【0071】まず、図4のステップ100において、オペレータによりコンソール等の入出力装置62(図1参照)を介して設定露光量 S_0 が設定されるのを待ち、設定露光量 S_0 が設定されると、次のステップ101に進み、設定露光量 S_0 に応じてレーザビームLBの1パル

ス当たりのエネルギー設定値 E_t を中心エネルギー E_0 に設定する。

【0072】次のステップ102ではエキシマレーザ光源16に複数回(例えば数100回)パルス発光を行わせて、インテグレートセンサ46の出力を積算することによって、間接的にウエハW上での平均パルスエネルギー密度 p ($\text{mJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{pulse})$)を計測する。この計測は、例えば、レチクル可動ブラインド30Bを駆動して、その開口を完全に閉じ、照明光ILがレチクルR側に達するのを阻止した状態で行われる。勿論、XYステージ14を駆動してウエハWを退避させた状態で行なっても良い。

【0073】次のステップ103では次式より露光パルス数 N を算出する。

$$N = \text{cint}(S_0/p) \quad \dots\dots (7)$$

ここで、関数 cint は小数点以下1桁目の値の四捨五入を表すものとする。

【0074】次のステップ104でその露光パルス数 N が、必要な露光量制御再現精度を得るための最小露光パルス数 N_{\min} 以上であるかどうかを判断する。ここで、最小露光パルス数 N_{\min} は、例えば予め計測されて装置定数として設定されているパルスエネルギーのばらつき

(3σの値) δp の平均パルスエネルギー密度 p に対する $\delta p/p$ に基づいて求められる値である。

【0075】そして、このステップ104における判断が否定された場合、すなわち露光パルス数 N が最小露光パルス数 N_{\min} より小さい場合には、ステップ105に移行して、図1のエネルギー粗調器20のNDフィルタにより設定可能な透過率の中から $S_0/(N_{\min} \times p)$ に最も近く、かつ $N \geq N_{\min}$ を満足するような透過率を選択して設定した後、上記ステップ102、103の処理を再び行ない、このようにしてステップ104の判断が肯定された場合又は当初からステップ104の判断が肯定された場合($N \geq N_{\min}$ の場合)には、ステップ106に移行して、次式より露光量目標値精度の実測値 A_{tgt} を算出する。

$$A_{tgt} = ABS(1 - pN/S_0) \quad \dots\dots (8)$$

ここで、関数ABSは絶対値を求める関数である。

【0077】次のステップ107ではエキシマレーザ光源16におけるパルスエネルギーの微変動が必要であるかどうか、すなわち露光量目標値精度の実測値 A_{tgt} が上述した露光量目標値精度 A_t 以上であるかを判断する。そして、この判断が否定された場合、すなわち実測値 A_{tgt} が露光量目標値精度 A_t より小さいときには、ステップ109に移行し、スキャン速度 V =スキャン最高速(V_{\max})としてレーザ発振周波数 f を次式により算出する。

$$f = \text{int}(V_{\max} \times N / W_s) \quad \dots\dots (9)$$

ここで、関数 $\text{int}(a)$ は、実数 a を超えない最大の整数を表すものとする。

【0079】一方、ステップ107の判断が肯定された場合、すなわち $A_{\text{tgt}} \geq A_t$ である場合には、パルスエネルギーの微変調が必要であるため、ステップ108に移行する。このステップ108では、まず、次式よりインテグレートセンサ46を基準とした設定パルスエネルギー P_t ($\text{mJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{pulse})$) を算出する。

$$P_t = S_0 / \text{cint}(S_0 / p) \quad \dots (10)$$

【0080】次いで、メモリ51内に制御テーブルとして保持している変換係数 β を用いて、(5)式よりエキシマレーザ光源16でのレーザビームLBのエネルギー設定値 E_t (mJ/pulse) を算出し、このエネルギー設定値 E_t をエネルギーコントローラ16dに供給した後、ステップ109に進み、前記の如くスキャン速度 $V = \text{スキャン最高速}(V_{\text{max}})$ としてレーザ発振周波数 f を算出する。

【0081】次のステップ110では、上で算出したレーザ発振周波数 f がレーザの持つ最大発振周波数 f_{max} 以下であるか否かを判断する。そして、この判断が肯定された場合には、ステップ111に進み、エネルギーコントローラ16dを介してレーザ発振周波数を上で算出した値に設定するとともにスキャン目標速度(スキャン速度)をスキャン最高速 V_{max} に設定する。一方、上記ステップ110の判断が否定された場合は、ステップ112に移行する。このステップ112では、上で算出したレーザ発振周波数の設定は不可能であるから、エネルギーコントローラ16dを介してレーザ発振周波数 f を最大発振周波数 f_{max} に設定した後、ステップ113に進んで、スキャン速度 V を次式に基づいて設定する。

$$V = W_s \times f_{\text{max}} / N \quad \dots (11)$$

そして、ステップ114では、それまでのステップで定まった設定条件 (V 、 f 、 P_t) にて露光を行なう。

【0083】図5には、上で説明した図4のフローチャートに従った露光制御シーケンスにおける設定露光量 (S_0) と1点当たりの露光時間 (T_{exp}) の関係が示されている。この図5において、実線は本実施形態の場合を示し、点線は比較のために、従来の場合を示したものである。

【0084】この図5から明らかなように、本実施形態によると、高感度レジストに対応した領域(設定露光量 $S_0 \leq P N_{\text{min}} \cdot (f_{\text{max}}/f_0)$ の領域)において、エネルギー粗調器20の離散的な減光率の影響を受けることなく、常に(設定露光量 S_0 の値にかかわらず)スキャン最高速 (V_{max}) にて露光が可能になり、露光時間 (T_{exp}) が最小になる。また、低感度レジストに対応する領域(設定露光量 $S_0 > P N_{\text{min}} \cdot (f_{\text{max}}/f_0)$ の領域)でも、レーザの持つ最大発振周波数 f_{max} での露光となるために、従来例を示す点線の傾き $\partial T / \partial N$

$= 1/f_0$ と、本実施形態を示す実線の傾き $\partial T / \partial N = 1/f_{\text{max}}$ とを比較すると明らかなように、露光時間が短縮する。即ち、広範囲の設定露光領域スループットとしても最大を得ることが可能となる。また、そのスキャン最高速で露光できる設定露光量の範囲も $S_0 = P N_{\text{min}}$ から $P N_{\text{min}} \cdot (f_{\text{max}}/f_0)$ に拡大される。

【0085】さらに、本実施形態では、エキシマレーザ光源16のパルスエネルギーを微変調しているため、高速、且つ高精度にウエハWに対するレーザビームLBの露光量を制御でき、ウエハW上の各点で所望の積算露光量を得ることができる。

【0086】ところで、上で説明した露光制御シーケンスは、像面照度の低い照明条件の場合により一層大きな効果を発揮する。照明系開口絞り板24等による照明条件変更時のパワーロスに対しては、エネルギー伝送効率を落とさないような照明光学系が提案されているが、照明条件間差が零であるような完全な系は達成困難であり、照度(平均パルスエネルギー)の照明条件間差は避けられない。

【0087】ここで、一例として、平均パルスエネルギーが最大となる標準照明条件に対する効率を E ($E < 1$) とした照明条件を例にとり、本実施形態の露光制御シーケンスが一層大きな効果を発揮することの一例を図6を用いて説明する。この図6では、説明の簡略化を図るべく透過率が連続可変のアッテネータ(変調器)が使用されているものとする。

【0088】従来シーケンスでの標準照明条件においては、図6中にケース1で示されるように、その照明条件の1点当たりの最小露光時間は $(W_s/V_{\text{max}}) = (N_{\text{min}}/f_0)$ であり、その最小露光時間で露光できる最大露光量は $P N_{\text{min}}$ と表せる。それに対して、効率 E の照明条件では、最小露光時間で露光できる最大露光量は、図6中にケース2で示されるように、 $E P N_{\text{min}}$ となって、効率 E の小さな照明条件では設定露光量全般でのスループットが良くなかった。

【0089】これに対し、本実施形態のシーケンスを上記効率 E の照明条件に適応すると、図6中のケース3に示されるように、最小露光時間は W_s/V_{max} であり、従来例の場合と変わらないが、その最小露光時間で露光できる最大の設定露光量 S_0 は $E P N_{\text{min}} \cdot (f_{\text{max}}/f_0)$ と拡大され、これはケース1で示される従来シーケンスでの標準照明条件における最大の設定露光量 $S_0 = P N_{\text{min}}$ により大きくなっている。これは、本実施形態では、レーザ発振周波数(繰返し周波数)を上げることによって実効的な照度を上げ、照明条件の変更による平均パルスエネルギーの低下分を補うことが可能だからである。このように、上記のシーケンスによると、照度の低い照明条件において、発振周波数 f の変調できる範囲 ($E P N_{\text{min}} \leq S_0 < E P N_{\text{min}} (f_{\text{max}}/f_0)$) で露光時間が短縮され、低感度領域全般でスループットが改

替される。

【0090】なお、上記実施形態では、エキシマレーザ光源16のパルスエネルギーを微変調する場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではなく、これに代えて、又はこれとともにエネルギー微変調器として、前述した図11(A)、(B)に示されるようなエネルギー微変調器を用いてパルスエネルギーを微変調するようにしても良いことは勿論である。この場合には、当該微変調器が、例えば図1のエネルギー粗調器20とフライアイレンズ22との間のレーザビームLBの光路上に配置されるとともに、ウエハW上の各点で所望の積算露光量が得られるように主制御装置50によってこれが制御されることとなる。

【0091】《第2の実施形態》次に、本発明の第2の実施形態を図7ないし図10に基づいて説明する。ここで、前述した第1の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については同一の符号を用いるとともに、その説明を簡略にし若しくは省略するものとする。

【0092】図7には、本第2の実施形態に係る走査型露光装置70の構成が概略的に示されている。この走査型露光装置70は、エネルギー微変調器を用いてパルスエネルギーの微変調を行な点が、エキシマレーザ光源16の出力パルスエネルギーそのものを微変調する前述した第1の実施形態の走査型露光装置10とは異なる。

【0093】このため、この走査型露光装置70では、図7に示されるように、エネルギー粗調器20とフライアイレンズ22との間のレーザビームLBの光路上に、エネルギー微変調器21が設けられている。このエネルギー微変調器21としては、例えば前述した図11(A)に示されるダブル・グレーティング方式の微変調器や、図11(B)に示される2枚のそれぞれ入射角に応じて透過率が微調整される光学フィルタ板と、この2枚の光学フィルタ板の交差角を所定範囲で調整する駆動装置とから成るエネルギー微変調器を用いることができる。このエネルギー微変調器21による微調量 T_f が主制御装置50によって制御される。

【0094】なお、エネルギー微変調器21として、例えばラマン・ナンス回折(デバイ・シアース効果)等を利用する音響光学変調器を用い、この音響光学変調器での変調状態を制御することにより透過光量を連続的に変化させるようにしても良い。

【0095】図8には、そのエネルギー微変調器21内の駆動装置(図示省略)に対する外部からの制御量と透過率の変化量との関係が直線Qとして示されている。この図8において、射出されるレーザビームの光量を入射するレーザビームの光量で除算して得られる透過率を微調量 T_f としている。本実施形態では、微調量 T_f の調整範囲は所定の最小値 T_{min} から最大値 T_{max} 間での連続する範囲であり、内部の駆動装置に対する制御量を中央値(中立点)に設定することにより、微調量 T_f は、最

小値 T_{min} と最大値 T_{max} との中央値 T_0 になるように調整されている。更に、エネルギー微変調器21をリセットした場合には、制御量が中立点に設定され、微調量 T_f が中央値 T_0 に設定されるようになっている。

【0096】その他の部分の構成等は、主制御装置50内CPUの制御アルゴリズムが異なる点を除けば、前述した第1の実施形態の走査型露光装置10と同様になっている。

【0097】次に、本実施形態の走査型露光装置70の基本的な露光量制御シーケンスについて、主制御装置50内のCPUの制御アルゴリズムを示す図9及び図10のフローチャートを参照して説明する。なお、エキシマレーザ光源16からのレーザビームLBに対するエネルギー粗調器20による透過率は、単に露光パルス数が必要露光パルス数以上になるように設定すればよいため、ここでは、レーザビームLBのエネルギーの微変動動作に着目して説明する。

【0098】本実施形態における露光量制御は、各ショット領域内ではパルスカウント方式で行われるが、ショット領域間で所定のエネルギー変調が行われるものである。

【0099】先ず、図9のステップ201において、オペレータによりコンソール等の入出力装置62(図7参照)を介して、ウエハW上で露光対象とする多数のショット領域の例えば中心座標(露光位置)、各ショット領域への露光を行う際のウエハWの走査方向への移動距離(走査長)L、およびウエハW上の1点当りに照射すべき目標積算露光量(設定露光量) S_0 (mJ/cm^2)等が設定されるのを待つ。そして、設定露光量 S_0 等が設定されると、次のステップ202に進み、エキシマレーザ光源16に複数回(例えば数100回)パルス発光を行わせて、インテグレートセンサ46の出力を積算することによって、間接的にウエハW上での平均パルスエネルギー密度 p ($\text{mJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{pulse})$)を計測する。この計測は、例えば、レチクル可動ブラインド30Bを駆動して、その開口を完全に閉じ、照明光1LがレチクルR側に達するのを阻止した状態で行われる。勿論、XYステージ14を駆動してウエハWを退避させた状態で行なっても良い。なお、上記の平均パルスエネルギー密度を計測する際に、レーザビームLBのパルスエネルギーの標準偏差の3倍(3σ)の値(ばらつき) δP の平均パルスエネルギー密度 p に対する比 $\delta P/p$ を求めることも可能である。

【0100】次のステップ203では前述したステップ103と同様にして露光パルス数 N を算出する。

【0101】この露光パルス数 N の算出に続き、図示は省略したが、主制御装置50内のCPUでは、例えば予め計測されて装置定数として設定されているパルスエネルギーのばらつき(3σ の値) δP の平均パルスエネルギー密度 p に対する比 $\delta P/p$ に基づいて、ウエハW上の各

ショット領域内での積算露光量のばらつきを所定の許容値以内に抑さえるために必要な最小露光パルス数 N_{min} を求める。なお、上記ステップ202で求めた $\delta P/p$ に基づいて最小露光パルス数 N_{min} を求めるようにしても良い。本実施形態のように、1つのエキシマレーザ光源16からのパルス光を順次露光する方式では、ウエハ上の1点当りの積算露光量 S の分布は、例えば特開平8-250402号公報に開示されているように、平均値

$$N_{min} \geq [(\delta P/P)^2 / A_0]^{1/2}$$

次のステップ204で上記ステップ203で算出した露光パルス数 N が、必要な露光量制御再現精度を得るための最小露光パルス数 N_{min} 以上であるかどうかを判断する。

【0103】そして、このステップ204における判断が否定された場合、すなわち露光パルス数 N が最小露光パルス数 N_{min} より小さい場合には、ステップ205に移行して、図7のエネルギー粗調器20のNDフィルタにより設定可能な透過率の中から $S_0 / (N_{min} \times p)$ に最も近く、かつ $N \geq N_{min}$ を満足するような透過率を選択して設定した後、上記ステップ202、203の処理を再び行ない、このようにしてステップ204の判断が肯定された場合又は当初からステップ204の判断が肯定された場合($N \geq N_{min}$ の場合)には、ステップ206に移行して、前述したステップ106と同様にして露光量目標値精度の実測値 A_{tgt} を算出する。

【0104】次のステップ207ではパルスエネルギーの微変動が必要であるか否か、すなわち露光量目標値精度の実測値 A_{tgt} が上述した露光量目標値精度 A_t 以上であるか否かを判断する。そして、この判断が否定された場合、すなわち実測値 A_{tgt} が露光量目標値精度 A_t より

$$T_{max} = (N_{min} + 1) (1 - A_t) / N_{min} \quad \dots\dots (14A)$$

$$T_{min} = N_{min} (1 + A_t) / (N_{min} + 1) \quad \dots\dots (14B)$$

また、初期状態、及びリセット時での微調量 T_f の値は、 $(T_{max} + T_{min}) / 2$ 、即ち T_0 に設定される。

【0108】次のステップ210では、上で算出したレーザ発振周波数 f がレーザの持つ最大発振周波数 f_{max} 以下であるか否かを判断する。そして、この判断が肯定された場合には、ステップ211に進み、エネルギーコントローラ16dを介してレーザ発振周波数を上で算出した値に設定するとともにスキャン目標速度(スキャン速度)をスキャン最高速 V_{max} に設定する。一方、上記ステップ210の判断が否定された場合は、ステップ212に移行する。このステップ212では、上で算出したレーザ発振周波数の設定は不可能であるから、エネルギーコントローラ16dを介してレーザ発振周波数 f を最大発振周波数 f_{max} に設定した後、ステップ213に進んで、スキャン速度 V を前述したステップ113と同様にして設定する。

【0109】以上により初期設定が行われたため、次のステップ214(図10のステップ214)では、ウエ

ハが N_p で 3σ の値が $N^{1/2} \cdot \delta P$ の正規分布となる。また、ウエハW上の各ショット領域内での積算露光量の再現性を A_0 とし、ウエハW上の各点で必要とされる積算露光量の再現性を A_{rep} とすると、複数パルスの積算露光量の再現性をその A_{rep} 内に収めるのに必要な最小露光パルス数 N_{min} は次の条件を満たすように定められる。

$$[0102] \quad \dots\dots (12)$$

り小さいときには、ステップ209に移行し、スキャン速度 V =スキャン最高速(V_{max})としてレーザ発振周波数 f を前述したステップ109と同様にして算出する。すなわち、スキャン速度 V =スキャン最高速(V_{max})としてレーザ発振周波数 f を前述した(9)式により算出する。これにより、露光パルス数 N が最小露光パルス数 N_{min} より大きい分だけ、レーザ発振周波数 f を増やしてスキャン最高速 V_{max} を維持するのである。

【0105】一方、ステップ207における判断が肯定された場合は、ステップ208に進み、図7のエネルギー微調器21での微調量 T_f を次式のように設定することにより、平均パルスエネルギー p の値を調整した後、ステップ209に移行する。

$$T_f = S_0 / (pN) \quad \dots\dots (13)$$

【0106】エネルギー微調器21における微調量(透過率) T_f は、図8を参照して既に説明したように最小値 T_{min} と最大値 T_{max} との間で変化するが、上述の最小露光パルス数 N_{min} 、及び露光量目標値精度 A_t を用いて最大値 T_{max} 、及び最小値 T_{min} はそれぞれ次のように表すことができる。

$$[0107]$$

ハW上の指定されたショット領域に、設定された露光量で走査露光方式でレチクルRのパターン像を露光する。

【0110】この走査露光中に、主制御装置50内のCPUではインテグレータセンサ46を介して、エキシマレーザ光源16からのレーザビームLBによるウエハW上の当該ショット領域上での積算露光量を算出する。この場合、ウエハW上の各点に対する露光パルス数は N であるため、図7の露光領域42Wに対してウエハW上の当該ショット領域が走査されている期間に、インテグレータセンサ46からのパルスの光電変換信号を N パルス分ずつ M 回(M は2以上の整数)積算して順次積算露光量 S を算出する。これにより、ウエハW上の Y 方向にはほぼ等間隔で配置された M 個の位置 Y_j ($j=1 \sim M$)での積算露光量 S_j が算出される。なお、この積算露光量 S_j の具体的な算出方法については、例えば特開平8-250402号公報等に開示されているので、ここでは、詳細な説明については省略する。

【0111】次のステップ215において、次式より M

個の積算露光量 S_i の平均値 S_{rst} を算出すると共に、その露光中の平均パルスエネルギー p' を算出する。

$$S_{rst} = (S_1 + S_2 + \dots + S_M) / M \quad \dots\dots (15)$$

$$p' = S_{rst} / N \quad \dots\dots (16)$$

次のステップ216では、露光されたショット領域での実際の積算露光量の平均値 S_{rst} の目標積算露光量 S_0 に対する誤差である目標値誤差 $ABS(S_{rst}/S_0 - 1)$ が上述の露光量目標値精度 A_t より大きいかな否かを判断する。そして、この判断が肯定される場合、すなわちその目標値誤差が露光量目標値精度 A_t を超える場合には、ステップ217に進み、必要な露光量の補正量を算出する。具体的には、レーザビームLBのパルス毎の補正後の露光量を現在の露光量で除算して得た値である補正量 T_{add} を次のように設定する。

【0113】

$$T_{add} = S_0 / S_{rst} \quad \dots\dots (17)$$

この場合、露光が終了したショット領域に対するエネルギー粗調器20における露光量の粗調量(透過率) T_R 、及びエネルギー微調器21における露光量の微調量 T_F の値は前ショット領域の情報としてメモリ51内に格納されている。

【0114】そこで、次のステップ218では、エネルギー微調器21の微調量 T_F にその補正量 T_{add} を乗じて得られる値が、エネルギー微調器21の調整可能範囲内にあるかどうかを次式に基づいて判断する。

【0115】

$$T_{min} \leq T_{add} \cdot T_F \leq T_{max} \quad \dots\dots (18)$$

そして、(18)式が成立するときには、ステップ219に進んでエネルギー微調器21の微調量 T_F を $T_{add} \cdot T_F (=T_F')$ とすると変更した後、ステップ230に移行する。このステップ230では、露光すべきショット領域が残っているかどうかを判断し、露光すべきショット領域があるときにはステップ214に戻って、新たに設定されたエネルギー微調器21の微調量 T_F' のもとで、走査露光方式で露光を行う。この際に、露光量は直前のショット領域での実際の積算露光量に基づいて

$$ABS(N' \cdot p' / S_0 - 1) > A_t \quad \dots\dots (20)$$

そして、上記判断が肯定された場合、すなわち目標値誤差が露光量目標値精度 A_t を超えたときには、ステップ224に進んで必要な露光量の補正量を算出する。具体的には、エネルギー微調器21における微調量 T_F が次の T_F' に変更される。

【0121】

$$T_F' = T_F \cdot S_0 / (N' \cdot p') \quad \dots\dots (21)$$

そして、次のステップ225～ステップ229において、前述したステップ209～ステップ213と同様の処理を行なう。すなわち、スキャン速度を最高速にした状態で新たな露光パルス数 N' に対応するレーザ発振周波数 f を算出し、この算出した f がレーザ最大発振周波数 f_{max} 以下であればエネルギーコントローラを介してそ

【0112】

補正されているため、得られる積算露光量は目標積算露光量(設定露光量) S_0 に近いものとなる。

【0116】一方、上記ステップ216における判断が否定された場合、すなわち目標値誤差 $ABS(S_{rst}/S_0 - 1)$ が露光量目標値精度 A_t 以下であるときには、露光条件を変える必要がないため直接ステップ230に移行して、次のショット領域への露光が行われる。そして、露光すべきショット領域が尽きたときに本ルーチンの一連の処理が終了する。

【0117】この一方、上記ステップ218において、微調量 T_F と補正量 T_{add} との積が(18)式の範囲内でないときには、ステップ220に移行して、ウェハW上の1点当りの露光パルス数 N を次式の N' に変更する。なお、平均パルスエネルギー p' は(16)式で求められる実際の平均パルスエネルギーである。

【0118】

$$N' = \text{cint}(S_0 / p') \quad \dots\dots (19)$$

そして、次のステップ221では、補正後の露光パルス数 N' が、必要最小露光パルス数 N_{min} 以上であるかどうかを判定し、この判断が否定された場合、すなわち N' が N_{min} より小さいときには、ステップ222でエネルギー微調器21をリセットして、微調量 T_F を中央値 T_0 に設定した後、図9のステップ205に戻って $N' \geq N_{min}$ となるようにエネルギー粗調器20の粗調量を調整してから、ステップ202に戻る。

【0119】一方、ステップ221の判断が肯定された場合、すなわち $N' \geq N_{min}$ が成立するときには、ステップ223に移行して補正後の予想される積算露光量 $N' \cdot p'$ の目標積算露光量 S_0 に対する誤差である目標値誤差が上述の露光量目標値精度 A_t より大きいかな否かを次式に基づいて判断する。

【0120】

の周波数にレーザ発振周波数を変更するとともに、スキャン速度をスキャン最高速 V_{max} に設定し、算出した f がレーザ最大発振周波数 f_{max} を超えていれば、レーザ発振周波数をレーザ最大発振周波数 f_{max} に変更するとともに、 f_{max} 及び N' に応じたスキャン速度 V を設定する。その後、動作はステップ230に移行して次のショット領域への露光が行われる。

【0122】一方、ステップ223における判断が否定された場合、すなわち予想される目標値誤差 $ABS(N' \cdot p' / S_0 - 1)$ が露光量目標値精度 A_t 以下である場合は、エネルギー微調器21の設定は変える必要がないので、直接ステップ225以下に移行して、上記と同様にしてレーザ発振周波数、スキャン速度の設定

が行われ、その後ステップ230に移行して次のショット領域への露光が行われる。

【0123】以上のように図9及び図10に示されるフローチャートに従った露光量制御シーケンスによれば、ステップ215〜230（ステップ222を除く）に示されるように、ウエハW上のショット間の露光量安定性を得るために、個々のショット領域への露光の間に、インテグレートセンサ46の出力に基づいて積算露光量データ（ランニングウインドウデータ）を取得し、その結果直前のショットの平均積算露光量が許容値外であるときは、直前に露光したショット領域で計測された積算露光量に基づいてエネルギー微変調器21における微調量 T_F を調整してパルスエネルギーの補正が行われることから、各ショット領域への積算露光量を正確に目標積算露光量に近づけることができる。

【0124】また、上記実施形態によると、高感度レジストが塗布された1枚のウエハWの露光（この場合、スキャン最高速で走査露光が行われる）の途中でレーザ光源16の平均パワーが大きく変動、即ち1パルス分に相当する分のパワー変動が生じ、微変調器21の微調ダイナミックレンジ外となった場合（ステップ218の判断が否定される場合）に、低下前と同一の露光量を得るために、ステップ220でウエハ上の1点の露光パルス数を変更され、例えばパルス数 $N \rightarrow (N+1)$ なる変更が算出されたときにおいても、ステップ225においてレーザ光源16の発振周波数 f が前のショットの $(N+1)/N$ 倍に設定されるので、結果的にスキャン速度を変更することなく、所望の露光量を得ることが可能となる。従って、かかる場合であっても露光時間の増大がなく、スループットを維持することができる。

【0125】また、上記のような露光量制御は、次に実際にステップ202のようにエキシマレーザ光源16からのレーザビームの平均パルスエネルギーを計測する（これを「エネルギーチェック」と呼ぶ）まで繰り返される。但し、ステップ221→ステップ222→ステップ205の流れによりエネルギー粗調器20における粗調量 T_R を変更する際には、ステップ202でエネルギーチェックが行われるが、このようにショット領域への露光の間にエネルギー粗調器20における粗調量 T_R を変更する頻度はかなり低いものである。また、通常のエネルギーチェックは、ウエハを交換する毎、又はウエハのロットを交換する毎等の間隔で行われる。従って、例えば1枚のウエハへの露光の間では通常エネルギーチェックを行う必要がなく、露光工程のスループット（単位時間当りのウエハの処理枚数）はかかる点においても高く維持されている。

【0126】なお、上記ステップ215では(15)式より M 個の積算露光量 S_j （ $j=1 \sim M$ ）の全体の平均値 S_{rst} を算出しているが、これに代えて終わりから m 個（ $m < M$ ）の積算露光量 S_j の平均値 S_{rst}' を用いて

もよい。これにより、エキシマレーザ光源16のより短期的な出力変動に対応した露光量制御を行うことが可能になる。

【0127】更に、本第2の実施形態では、パルスエネルギーの変調器としてエネルギー粗調器20及びエネルギー微変調器21が使用されているが、これに限らず、前述した第1の実施形態と同様にエキシマレーザ光源16の電力（印加電圧）を制御するようにしても良いことは勿論である。この場合、例えばエネルギー微変調器21の初期状態での微調量（透過率） T_0 に基づく $(1-T_0)$ 分のエネルギー損失がなくなるため、全体としてエネルギーの利用効率が向上する。

【0128】また、上記実施形態ではステップ216、217に示されるように、積算露光量の平均値 S_{rst} が許容値を超えたときに露光量を補正しているが、平均値 S_{rst} が許容値以内である場合にも、各ショット領域への露光毎に連続してその平均値 S_{rst} のデータを蓄積し、平均値 S_{rst} に増加又は減少傾向がある場合には、その平均値 S_{rst} が許容値を超える前に予め露光量を補正するようにしてもよい。このような予測制御により、積算露光量が許容値外になるショット領域の個数が減少する利点がある。

【0129】更に、上記実施形態では各ショット領域への露光の間にエネルギー微変調器21等を介して露光量の変調を行っているが、各パルス露光の間にそれまでの部分的な積算露光量に基づいてエネルギー微変調器21等を介して露光量を変調してもよい。これにより、各ショット領域での積算露光量をより正確に目標積算露光量に近づけることができる。

【0130】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1に記載の発明によれば、高感度領域及び低感度領域にかかわらず常に最短時間で露光を行なうことが可能な走査露光方法が提供される。

【0131】また、請求項2に記載の発明によれば、減光手段の離散的な減光率の影響を受けることなく、高感度領域において常に最短時間で露光を行なうことができるとともに低感度領域においてもスループットを向上させることができるという従来にない優れた走査型露光装置を提供することができる。

【0132】また、請求項3に記載の発明によれば、特に高感度露光領域において、露光中のパルスエネルギーが変動した際に、走査速度を維持した状態で、次ショットに対し所望の積算露光量を得るような露光を行なうことができる走査露光方法が提供される。

【0133】また、請求項4に記載の発明によれば、特に高感度露光領域において、露光中のパルスエネルギーが変動した際に、走査速度を維持した状態で、次ショットに対し所望の積算露光量を得るような露光を行なうことができるという優れた走査型露光装置を提供することが

できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係る走査型露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の装置の露光量制御系の構成を概略的に示すブロック図である。

【図3】インテグレートセンサの処理量とエネルギーモニタの出力との相関データの一例を示す図である。

【図4】第1の実施形態に係る主制御装置内CPUの露光量制御アルゴリズムを示すフローチャートである。

【図5】図4のフローチャートに従った露光量制御シーケンスにおける設定露光量(S_0)と1点当たりの露光時間(T_{exp})の関係を比較例とともに示す図である。

【図6】標準照明条件に対する効率を E ($E < 1$)とした照明条件を取り上げて、図4の露光量制御シーケンスが一層大きな効果を発揮することの一例を説明するための図である。

【図7】第2の実施形態に係る走査型露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図8】第2の実施形態に係るエネルギー微変調器内の駆動装置に対する外部からの制御量と透過率の変化量との関係を示す図である。

【図9】第2の実施形態に係る主制御装置内CPUの露光量制御アルゴリズムの一部を示すフローチャートである。

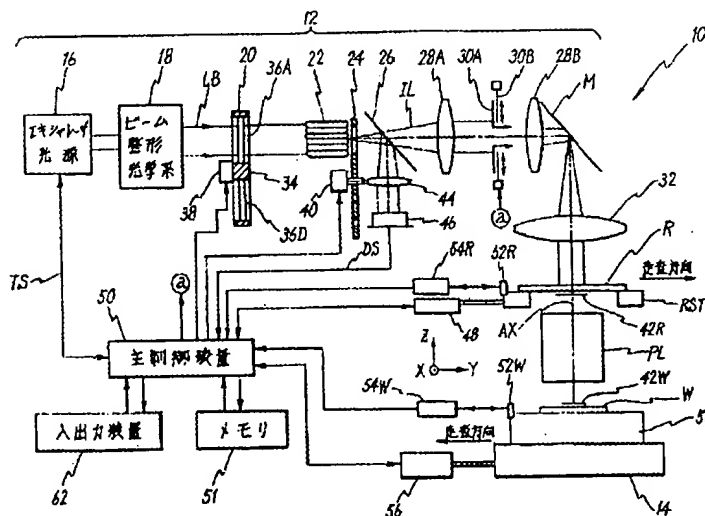
【図10】第2の実施形態に係る主制御装置内CPUの露光量制御アルゴリズムの残りの一部を示すフローチャートである。

【図11】(A)及び(B)はエネルギー微変調器の一例をそれぞれ示す図、(C)はエネルギー粗調器の一例を示す図である。

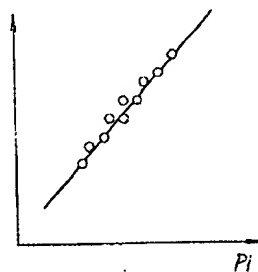
【符号の説明】

- 10 走査型露光装置
- 14 XYステージ(基板ステージ)
- 16 エキシマレーザ光源(パルスレーザ光源)
- 16d エネルギーコントローラ(周波数変更手段)
- 20 エネルギー粗調器(減光手段)
- 46 インテグレートセンサ(エネルギー計測手段)
- 48 レチクルステージ駆動部(ステージ制御系の一部)
- 50 主制御装置(ステージ制御系の一部、制御手段)
- 54R レーザ干渉計(ステージ制御系の一部)
- 54W レーザ干渉計(ステージ制御系の一部)
- 56 ウエハステージ駆動部(ステージ制御系の一部)
- 70 走査型露光装置
- R レチクル(マスク)
- W 感光基板
- PL 投影光学系
- RST レチクルステージ(マスクステージ)

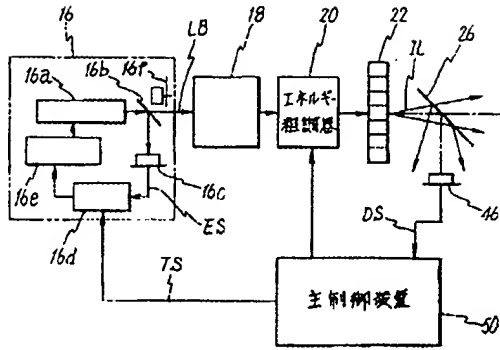
【図1】



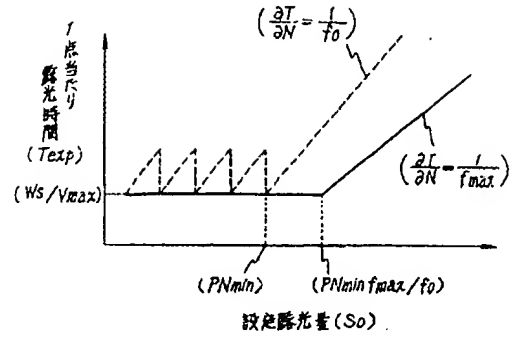
【図3】



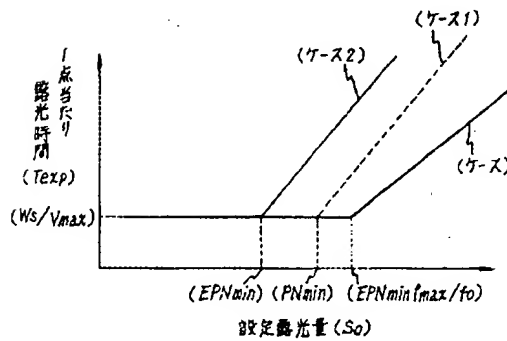
【図2】



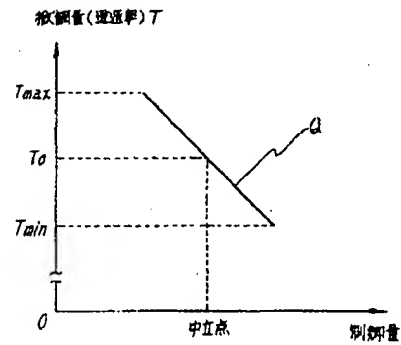
【図5】



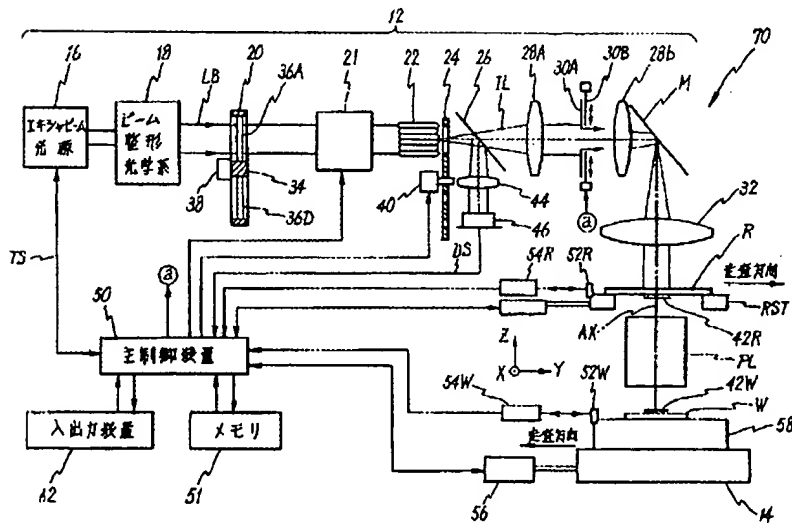
【図6】



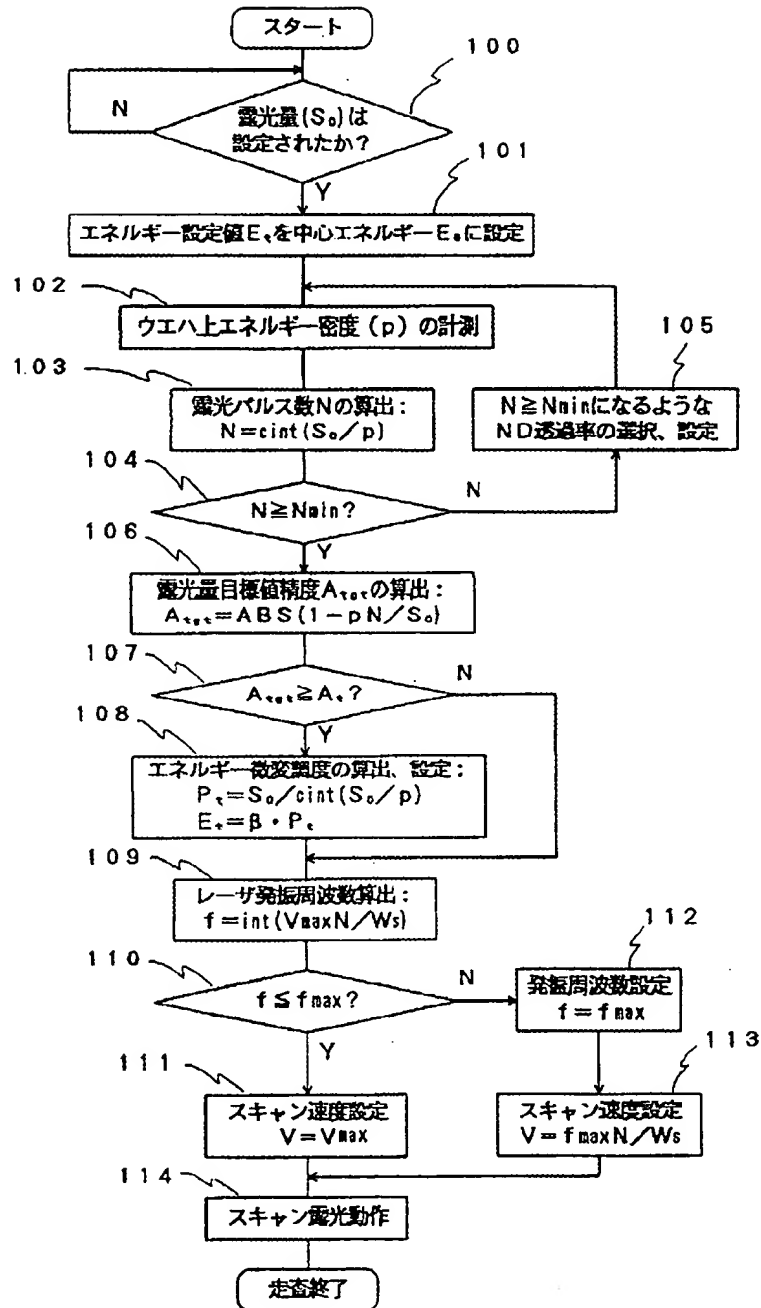
【図8】



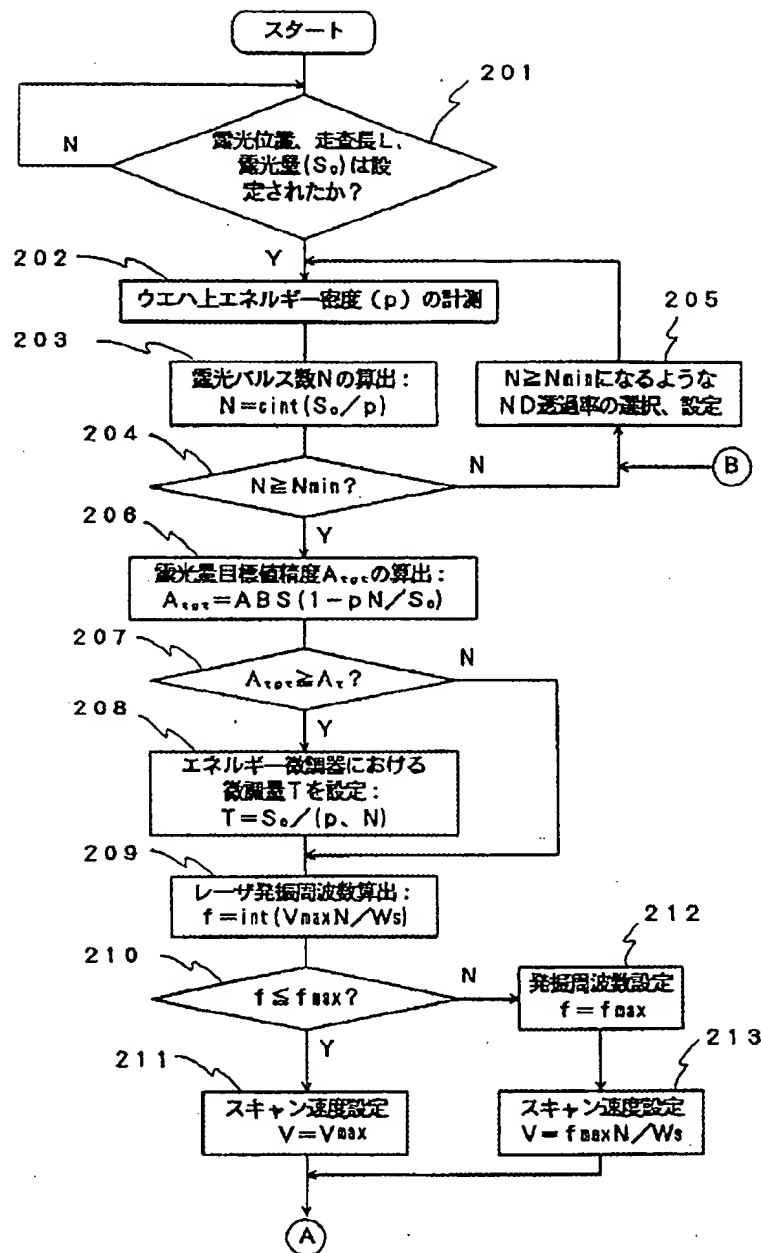
【図7】



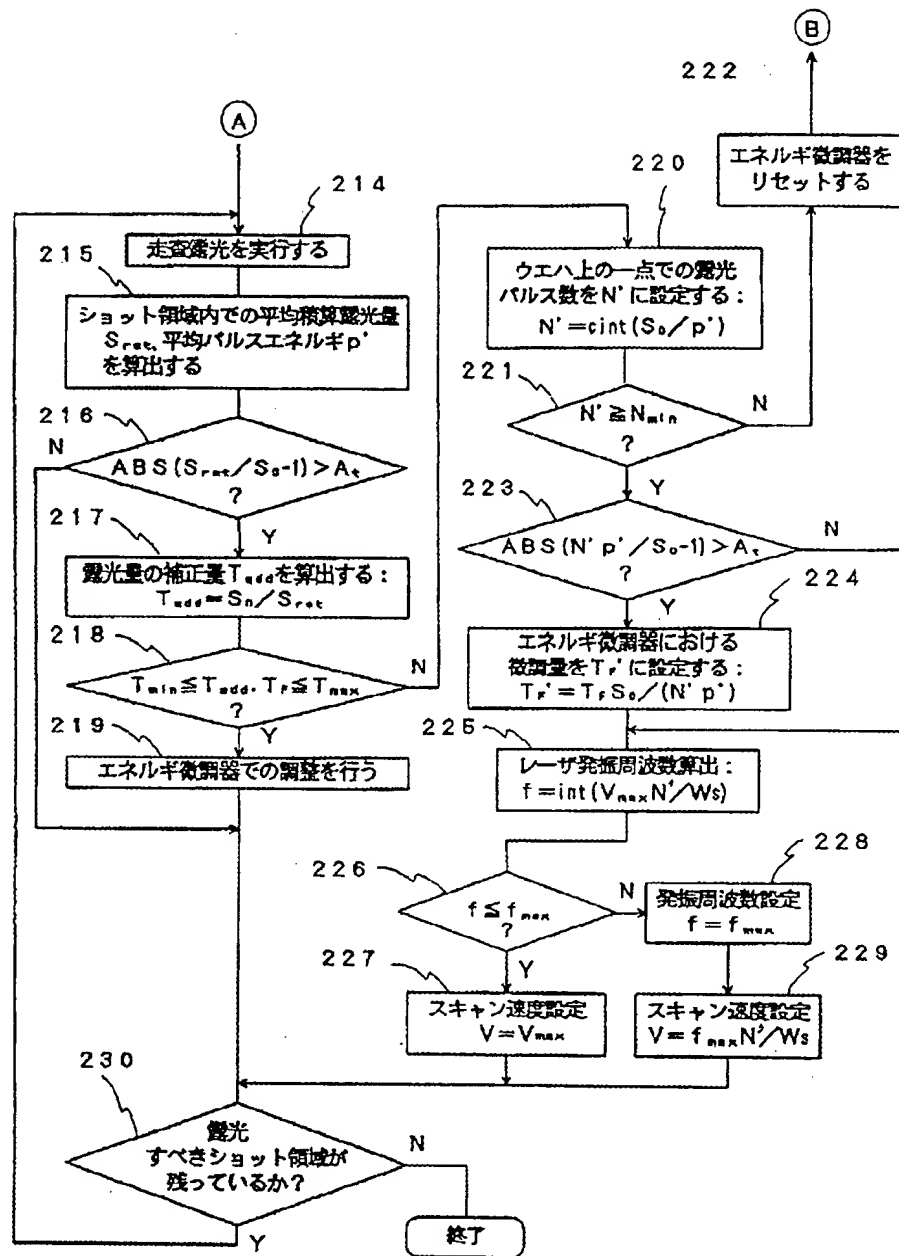
【図4】



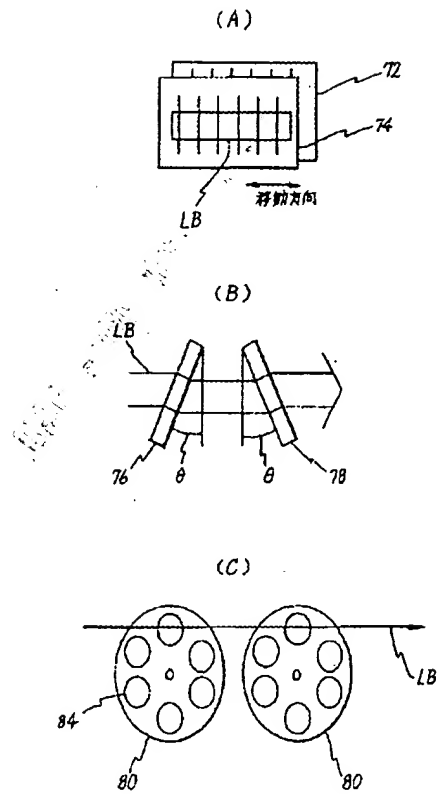
【図9】



【図10】



【図11】



THIS PAGE BLANK (USPTO)